

УДК 62.529.4

В.П. Малько, студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ АВТОНОМНИХ РОБОТІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИКОНАННЯ ПІДЗЕМНИХ ОПЕРАЦІЙ

Анотація. Розглянуто переваги та недоліки використання роботизованої техніки для реалізації підземних операцій. Проаналізовано існуючі методи роботизованих досліджень підземних просторів та картографії підземних середовищ, визначено їх недоліки. Запропоновано метод автоматизації горизонтально-направленого безтраншейного буріння за допомогою роботизованих систем, з метою підвищення ефективності та точності виконання підземних операцій.

Ключові слова: роботизована система, георадар, безтраншейне буріння, машинне навчання.

ВСТУП

На сьогоднішній день, використання підземного простору має велике значення в соціальному, екологічному та фінансовому напрямі. Але використання традиційних методів прокладання шляху у підземних просторах передбачає руйнування наземної інфраструктури, порушення дорожнього руху, вирубку зелених насаджень тощо. Рішенням цієї проблеми є використання так званих «безтраншейних технологій підземного будівництва». Технологія полягає у відсутності необхідності руйнування поверхні ґрунту під час проведення підземного будівництва.

З метою автоматизації вказаної технології перспективно використовувати робототехнічні комплекси, спроектовані для виконання підземних робіт. Такі роботизовані пристрої мають можливість проводити буріння, маневрувати, визначати своє розташування та переміщатись в підземному просторі, а також оснащені інструментами для прокладення горизонтальних та вертикальних свердловин та трубопроводів. Для орієнтації у просторі та аналізу оточуючого середовища застосовуються методи неруйнівного контролю. Відповідно, актуальним є завдання розробки конструкції та програмних алгоритмів навігації підземних роботів, які будуть використовуватися для виконання безтраншейного будівництва та інших підземних операцій.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

На сьогоднішній день для виконання підземних операцій здебільшого використовуються роботи-картографи та роботи для дослідження місцевості. Під час своєї роботи такі системи використовують ультразвукові та електромагнітні датчики для орієнтації під поверхнею та створення карт оточуючого підземного простору або об'єкту дослідження. Подібні робототехнічні пристрої можуть працювати у складі комплексних роботизованих систем, що значно розширить область їх використання. Наприклад, робот-картограф може проводити сканування підземного простору та його аналіз з метою управління іншим роботом, який буде безпосередньо виконувати підземні операції.

Один з прикладів реалізованих роботів представлено в роботі [1]. Пристрій призначений для картографії та моніторингу підземних рудників. Авторами був створений автоматизований робот «Alexander» в рамках проекту Mining-RoX

(рис.1). Пристрій складається з двох кольорових камер, лазерних датчиків, обчислювальної системи та системи освітлення. Камери призначені для картографії поверхонь рудників, а датчики для моніторингу умов підземного середовища. Система освітлення забезпечує функціонування камери під час руху. Побудова двовимірних кольорових карт відбувається в реальному часі. Побудова тривимірної карти відбувається завдяки накладанню отриманого зображення з камер на інформацію стосовно глибини у зоні отримання зображення. На виході створюється 3D карта місцевості з географічною прив'язкою. Основним недоліком є неможливість автономного дослідження залізничних колій (особливо місць їх перетинів) та інших важкопрохідних місць.



Рис. 1. Роботизований пристрій «Alexander»

Ще одним роботом, який використовується в задачах картографії та дослідження підземних просторів, є «Groundhog». Авторами роботи [2] був створений автономний робот, призначений для картографії покинутих шахт. Пристрій дозволяє створити карту місцевості – для цього він оснащений системою обчисленнями, двома лазерними датчиками дальності, датчиками газу і глибини занурення, а також обладнаний декількома камерами. 3D-сканування дозволяє автоматично визначити шлях, яким рухається робот відносно 3D-карти. Якщо можливий шлях руху не визначений, тоді робот переходить на ручний режим. Перевагою використання такого робота є дослідження важко доступних ділянок шахт без шкоди оператору, а також наявна можливість автономного або ручного керування роботом.

Використання роботів, призначених для картографії або моніторингу умов підземного середовища, не дозволяє повністю вирішити актуальні питання безтраншейного будівництва. Але згідно отриманих карт підземелля можна адаптувати робота для буріння саме в цих конкретних умовах. На сьогоднішній день автономні роботи для безтраншейного буріння знаходяться лише на початковому етапі розвитку, тому існують лише деякі відомі прототипи.

Так, наприклад, в роботі [3] авторами був розроблений робот для безтраншейного буріння. Роботизований пристрій дозволяє забезпечити прокладку тунелів, виявлення інженерних мереж і підземних об'єктів, а також

картографування і візуалізацію тривимірного підземного простору. Концепція робота складається з 2 підсистем: самого робота та пульта управління. Робот складається з декількох частин: бурової головки, механізму керування, бортового підземного радара. Пульт управління, який призначений для керування роботом, розташовується на поверхні та зв'язується з пристроєм через ретранслятори. Перевагою цієї системи є можливість створення тунелів безтраншейним методом орієнтуючись по створеній карті підземелля з точною локалізацією робота. Однак, на сьогоднішній день, система все ще знаходиться на етапі прототипу. Отже, враховуючи дану інформацію, питання розробки автономних роботів для буріння залишається актуальною науковою задачею.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі аналізу попередніх робіт, можна сформулювати концепцію універсальної роботизованої системи для виконання підземних операцій. Для прокладання підземних шляхів безтраншейним методом роботизований комплекс повинен мати пристрій, який складається з бурової головки. В свою чергу бурова головка складається з двигуна, головки, всмоктувальної труби, системи георадарів, блока керування та силової частини. В головці наявні отвори для землі, яка всмоктується трубою та передається на поверхню. Антени, які можна розташувати на задній частині бурової головки з рівним кроком по всьому діаметру, будуть призначені для відслідковування положення робота під землею.

Для орієнтації у просторі використовується система георадара, заснована на використанні радіосигналу частотою близько 600 МГц. Така система складається з декількох блоків георадарів, кожен з яких підключений до блоку керування, та призначена для сканування ґрунту для виявлення шарів ґрунту та завад для робота. Система випромінює сигнал в ґрунт, а блок антен робота його приймають. Таким чином створюється приймально-передавальний модуль, і робот дізнається своє місцеположення та наявність перешкод.

Оператор вказує точку входу і точку виходу операції буріння, а також надає деяку інформацію, таку як глибина занурення і тип ґрунту. Весь процес буріння і маневрування від входу до вихідної точки виконується автономно.

Також необхідно визначити метод буріння ґрунтів автоматизованим роботом та алгоритм проходження роботом завад, який дозволить оминати знайдені георадарами перешкоди та прокласти шлях до вихідної точки з найбільшою точністю та найменшими затратами потужності. Найвигіднішим методом для безтраншейних робіт є горизонтально-направлене буріння [4].

Метод заснований на застосованні бурової головки, яка виготовлена з твердосплавних змінних пластин. Бурова головка з'єднується з гнучкою штангою, що дозволяє їй виконувати рух по заданій траєкторії та огинати перешкоди. Для охолодження головки за допомогою бурового розчину і розрідження подрібненої породи в ній передбачені спеціальні отвори. Для контролю траєкторії буріння головки існує навігаційний блок, який отримує дані з георадарів на основі яких на блок управління передається розташування, азимут і ухил бурової головки. Це дозволяє з високою точністю виконати прокладку свердловини, обійти різноманітні завади на її шляху.

Навігаційний блок є одним з найважливіших частин роботизованих систем. Він призначений для розрахунку оптимального алгоритму траєкторії робота. Алгоритм має передбачати огинання перешкод в підземному просторі, щоб забезпечити створення безпечної траєкторії і успішне маневрування робота. Окрім того, алгоритмом має виконуватися мінімізація кривизни і довжини траєкторії, завжди задовольняючи обмеження, які накладаються стволом свердловини. Для розробки такого алгоритму та опрацювання отриманих даних перспективно використовувати методи машинного навчання [5].

ВИСНОВКИ

На сьогоднішній день існує багато способів дослідження підземних просторів. Використання метода горизонтально-направленого буріння для прокладання шляху підземного робота є найпопулярнішим завдяки його швидкодії. В завданнях розробки автоматичних роботів для безтраншейного буріння потрібна точна синхронізація даних георадара та місця розташування бурової головки робота. Правильно створений алгоритм обминання підземних завад у вигляді різних видів ґрунтів та структур інженерних мереж дозволить зберегти робота цілим. Розвиток цієї тенденції дозволить зменшити вартість обслуговування, зменшити кількість робочого персоналу, а також зберегти інфраструктуру та екологічний стан поверхні. Для отримання більш точного та економного прокладення тунелів та збільшення швидкодії робота рекомендовано проводити попереднє сканування області прокладки тунелів на наявність непрохідних ділянок і використовувати алгоритми аналізу даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Grehl S. Mining-RoX – mobile robots in underground mining / [S. Grehl, M. Donner, A. Dietze та ін.]. // in Proceedings Third International Future Mining Conference. – The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne, 2015. – С. 57–64.
- [2] Ferguson D. An autonomous robotic system for mapping abandoned mines / [D. Ferguson, A. Morris, D. Hähnel та ін.]. // in Proceedings 16th International Conference on Neural Information Processing Systems. – MIT Press: Cambridge, 2003. – С. 587–594.
- [3] Concept and Approach [Електронний ресурс] // The BADGER Consortium. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.badger-robotics.eu/content/concept-and-approach>.
- [4] Simi A. Underground robot on board GPR system / A. Simi, D. Pasculli, G. Manacorda // Robot for Autonomous Underground Trenchless Operations, Mapping and Navigation: сб. статей. – Leganés, 2019. – С. 12-16.
- [5] Momot A. S. The Use of Backpropagation Artificial Neural Networks in Thermal Tomography / A. S. Momot, R.M. Galagan. // proc. 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC) Kiev, 8-12 October 2018 / IEEE. – 2018. – pp. 1–6.

Наук. керівник – доктор філософії, ас. Момот А.С.